

Bauwerksüberwachung – Notwendigkeit, Probleme und Möglichkeiten: der SFB 477

Peil, Udo

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 2001 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.19-25



J. Cramer Verlag, Braunschweig

UDO PEIL, Wolfenbüttel

Bauwerksüberwachung – Notwendigkeit, Probleme und Möglichkeiten: der SFB 477

Braunschweig, 09.03.2001*

1. Notwendigkeit

Alle Zeichen deuten auf eine nachhaltige Strukturveränderung des Bauwesens hin. Mit überdurchschnittlichen jährlichen Zuwachsraten entwickelt sich die Bauerneuerung zum Motor der Bauwirtschaft. Auslöser dafür sind Alterung bestehender Bauwerke, Nutzungsänderung und die wandelnden Ansprüche an den Standard. Bei einem Gesamtwert der bestehenden Bausubstanz von ca. 10 bis 20 Billionen DM ergeben sich bei angenommenen Lebensdauern zwischen 50 bis 100 Jahren riesige Summen für die Unterhaltungs- und Sanierungskosten. Bild 1 zeigt die erwartete Umlagerung der Investitionen von Neubau auf Erneuerungs- und Erhaltungsinvestitionen. Man erkennt, daß bereits in näherer Zukunft die Erneuerungsinvestitionen die Neubauinvestitionen übertreffen werden. Der Erneuerungsbedarf stellt eine schwere Hypothek für die Zukunft dar. Die Lösung dieses Problems ist eine wichtige Aufgabe für die Forschung und auch für die Bauwirtschaft insgesamt. Von der Planung bis zur Ausführung sind Strategien zu entwickeln, damit die zur Verfügung stehenden, beschränkten Mittel verantwortungsbewußt eingesetzt werden.

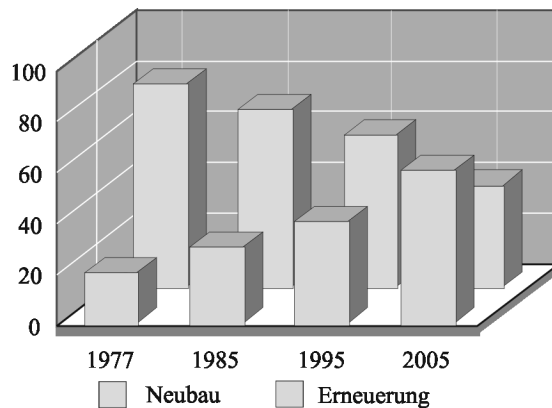


Bild 1: Entwicklung der Bauinvestitionen

* Vortrag vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Eine einfache Möglichkeit, beschränkte Mittel gezielt einzusetzen, besteht in einer geeigneten Überwachung von Bauwerken (Bauwerksüberwachung = BÜ). Durch die BÜ kann die verbleibende Nutzungsdauer sehr viel genauer vorhergesagt werden, so daß Re-Investitionen besser planbar sind. Bei dem großen vorhandenen Bauwerksbestand werden bei Verlängerung der Nutzungsdauer durch geeignete BÜ erhebliche Kosten eingespart werden.

Die Entwicklung der Unterhaltungskosten hängt wesentlich vom der Art der Überwachung und der daraus abgeleiteten Maßnahmen ab. Drei (vereinfachte) Szenarios sollen dies verdeutlichen:

- A) Man unterhält das Bauwerk nicht, hat deshalb auch keine Kosten. Der Widerstand des Bauwerks nimmt langsam ab und wird plötzlich durch den Eintritt eines Schadens, d.h. eines Ereignisses, das die Nutzung drastisch einschränkt oder verbietet, auf einen deutlich kleineren Wert oder sogar auf Null abfallen. Die Wiederherstellung ist teuer.
- B) Man unterhält das Bauwerk, hat also etwa konstante Kosten je Zeiteinheit, die Gesamtkosten nehmen also etwa linear zu. Man sorgt dafür, daß der Widerstand – soweit erkennbar – nicht abnimmt. Auch hier kann er – wenn die Schwachstelle nicht erkannt wurde – plötzlich auf einen deutlich kleineren Wert oder auf Null abfallen. Die Wiederherstellung ist teuer.
- C) Man überwacht die relevanten Schwachstellen und wartet das Bauwerk, hat also höhere Kosten, da die Überwachung zusätzliche Mittel erfordert, hat aber keine gravierende Reduktion des Widerstandes hinzunehmen.

Bei neuen Bauwerken muß die BÜ – im Sinne eines ganzheitlichen Qualitätssicherungskonzeptes – durchgreifend bereits in die Planung integriert werden. Als Beispiel für diese neue Denkweise wird bei den neuerbauten Werratalbrücken für die Autobahn A7 die Luftfeuchtigkeit im Inneren des Hohlkastens ständig überwacht. Bei steigender Luftfeuchtigkeit wird eine Trocknungsanlage aktiviert. Diese Lösung ist wesentlich billiger als ein aufwendiger innerer Korrosionsschutz der Hohlkästen.

Hinzu kommt, dass bei geeigneter BÜ die Instandsetzungs- und Re-Investitionskosten wesentlich besser planbar sind. Insbesondere für die öffentlichen Haushalte ist die Entwicklung und Verbesserung von Methoden zur Voraussage des künftig zu erwartenden Haushaltsmittelbedarfs für die Erhaltung des vorhandenen Baubestandes eine äußerst wichtige Maßnahme, wie dem Zweiten Bericht über Schäden an Bauwerken der Bundesverkehrswege zu entnehmen ist [2]. Hierzu zählen z.B. Entwicklungen von Methoden zur hinreichend genauen Vorhersage der Restnutzungsdauer von Bauwerken. Der Bericht verdeutlicht *“die große Bedeutung der Erhaltung der Bundesverkehrswege zur Verminderung von Schäden für die Wirtschaft und die Bürger des Landes. Die Vernachlässigung dieser wichtigen Aufgabe kann zu schweren Störungen im Verkehrsablauf, Beeinträchtigung der Wirtschaft, zu Nachteilen für den Wirtschaftsstandort Deutschland und zu erheblichen finanziellen Belastungen des Bundes führen. Diese Aufgabe wird durch die Entwicklung des Verkehrs, des Alters des Anlagenbestandes und der Umweltbelastung künftig immer mehr an Bedeutung gewinnen”*. Ähnliche Aussagen gelten nicht nur für die zitierten Bundesverkehrswege, sondern für alle anderen baulichen Anlagen gleichermaßen.

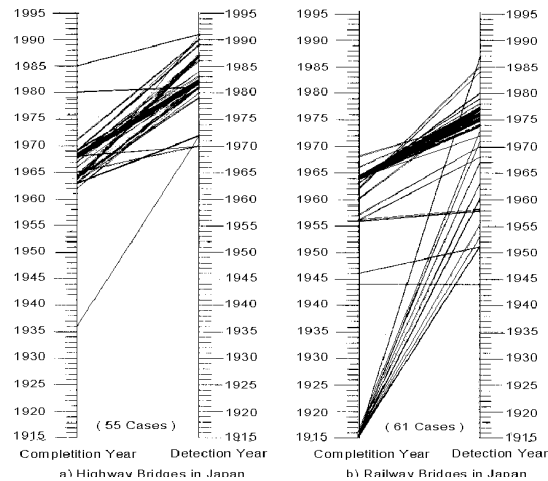


Bild 2: Schadensentwicklung

Daneben dient die BÜ der Reduzierung von Schadenspotentialen. Ansteigende Schadensraten bei Bauwerken erfordern aus Gründen der öffentlichen Sicherheit eine gezielte Bauwerksüberwachung, bzw. eine Intensivierung ggf. bereits vorgenommener Überwachung. Bild 2 zeigt symptomatisch die Entwicklung der Qualität von Bauwerken über die letzten 100 Jahre an einem Beispiel aus Japan [1], das aber sicher auch die Tendenz in anderen Ländern widerspiegelt. Im Bild wird ein Vergleich zwischen Baujahr und Schadensjahr von Brücken vorgenommen. Links im Bild sind die Verhältnisse bei Straßenbrücken, rechts bei Eisenbahnbrücken dargestellt. Die Strahlen beginnen links mit dem Baujahr und enden rechts mit dem Schadensjahr. Man erkennt, daß alte Brücken offenbar wesentlich solider gebaut wurden als Brücken aus unserer Zeit, bei denen bereits wenige Jahre nach der Erstellung die ersten Schäden auftreten.

Mögliche Ursachen der Schäden sind:

- Anwachsen oder Veränderung der Einwirkungen
- Höhere Ausnutzung des Widerstandes
- Mangelnde Sorgfalt bei der Herstellung
- Mangelnde Sorgfalt bei der BÜ
- Erprobung nicht genügend erforschter Bauweisen.

Eine Überwachung ist also aus Gründen der Sicherheit und auch der Qualitätssicherung dringend erforderlich. Neben der oben bereits kurz dargestellten, wirtschaftlichen Begründung der Bauwerksüberwachung, d.h. der Kostenersparnisse, ergeben sich bei Einsatz einer BÜ, wie sie hier angestrebt wird, eine Reihe weiterer Vorteile:

- Einfache Bestimmung der Bauwerkssicherheit bei Nutzungsänderungen oder Anpassung an geänderte Verhältnisse oder Randbedingungen.

- Die bisher übliche visuelle Inspektion führt dazu, daß häufig Schwachstellen nicht entdeckt werden. Eine BÜ im hier vorgeschlagenen Rahmen führt zu einer Objektivierung der ansonsten subjektiven visuellen Inspektion.
- Der Einsatz innovativer Bauweisen und Baustoffe, bisher nur mit großem Aufwand durchsetzbar, wird mit Hilfe einer geeigneten Bauwerksüberwachung erleichtert.
- Als Nebeneffekt wird die Qualität der üblichen Modellbildung verbessert, da durch das Monitoring genaue Daten über das Bauwerksverhalten über der Zeit vorliegen.

2. Ziele

Ziel der Forschungsaktivitäten des SFB 477 ist es, Methoden und Strategien zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und der Tragsicherheit von Bauwerken – im folgenden zusammenfassend als Nutzungsfähigkeit bezeichnet – mit Hilfe einer integrierten Bauwerksüberwachung zu entwickeln. Die hierbei angestrebten Zwischenziele (die nicht alle in der nächsten Förderperiode angegangen werden können) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Sicherstellung der Nutzungsfähigkeit von Bauwerken durch Erkennung plötzlicher Widerstandsverluste mit Hilfe der BÜ (Messung, Auswertung, Beurteilung) und daraufhin eingeleitete Sanierungen.
- Realistische Prognose des künftigen Bauwerksverhaltens durch adaptive Modelle, d.h. durch Modelle, die mit Hilfe der Messgrößen an den jeweiligen Bauwerkszustand angepaßt werden.
- Planung, Optimierung und Bewertung von Überwachungsmaßnahmen im Hinblick auf maximale Effizienz und Aussagesicherheit
- Konzeptionierung von BÜ als Instrument zur Planung und Optimierung von Überwachungs-, Beobachtungs- und von Instandhaltungsmaßnahmen
- Konzeptionierung der BÜ als Baustein eines ganzheitlichen QS-Systems für Bauwerke
- Entwicklung, Adaptierung von Sensoren für spezielle Zwecke der BÜ
- Entwicklung von effizienten Methoden zur Minimierung der Gesamtkosten des Bauwerkes (volkswirtschaftlich und betriebswirtschaftlich) durch integrierte BÜ.

3. Vorgehensweise

Die grundsätzliche Vorgehensweise läßt sich wie folgt schematisieren. Bild 3 zeigt eine Grobübersicht. Die Schematisierung ist bewußt einfach gehalten, um das Wesentliche deutlich zu machen. Die Hauptpunkte werden im folgenden kurz kommentiert.

- a) Schadensdefinition und Schadenssymptome: Zunächst müssen die zu erwartende Schädigung und deren Symptome in Abhängigkeit der Anforderungen an das Bauwerk (Nutzung, Gefahrenpotential, d.h. des zu erwartenden Folgeschadens etc.) definiert werden. Schadenssymptome sind z.B. Anrißgrößen, Verformungen, anwachsende Dehnungen, chemische Grenzwerte, Durchfeuchtung oder andere Grenzzustände. Die jeweiligen Grenzzustände sind zu definieren.

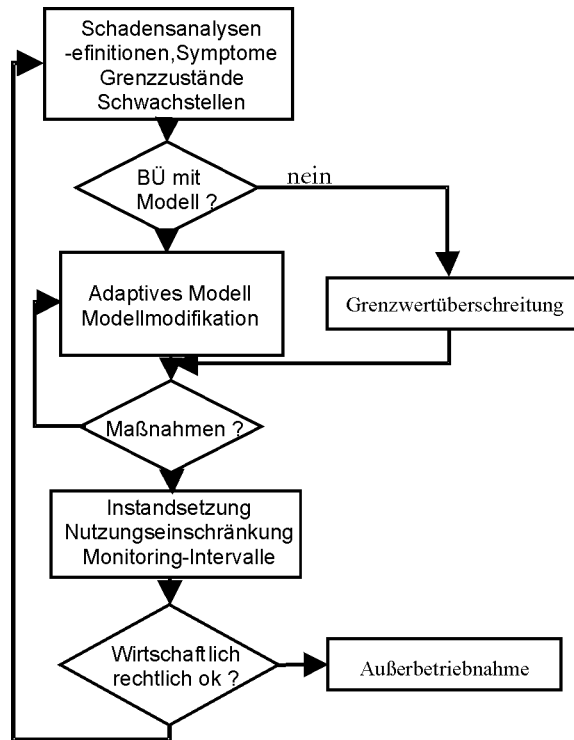


Bild 3: Grundsätzliche Vorgehensweise

- b) So unterschiedlich die Überwachungsaufgaben bei unterschiedlichen Bauwerken und Bauweisen auch sein mögen – eine ist allen gemeinsam: Es müssen die Schwachstellen des Bauwerkes identifiziert werden. Dies sind die Orte innerhalb eines Bauwerkes, die in Bezug auf das Eintreten von Schäden besonders anfällig sind und / oder bei denen Schäden nicht tolerierbare Folgen nach sich ziehen. Bei der Schwachstellenidentifizierung wird zweigleisig vorgegangen. Auf der einen Seite werden die deterministischen Verfahren zugescharft, dies sind insbesondere Verbesserungen der (klassischen) Modelle zur Beschreibung und Prognose des jeweiligen Schadens. Derartige deterministische Vorgehensweisen sind dann einfach anwendbar, wenn – bauwerksbedingt – die Schwachstellen hinreichend einfach festzulegen sind. Dies wird häufig bei älteren Bauwerken der Fall sein, bei denen das Sicherheitsniveau innerhalb des Bauwerkes stark schwankt. Bei neu errichteten Bauwerken ist das Sicherheitsniveau, bedingt durch die trag-lastorientierte Bemessung aller Bauelemente, i.a. vereinheitlicht. Eine eindeutige Schwachstelle existiert dann häufig nicht mehr, der Ort einer Schwachstelle kann sich, z.B. bedingt durch Streuungen im Werkstoff, weit von der rechnerisch ermittelten Schwach-

stelle entfernen. Es liegt auf der Hand, daß eine derartige Situation nur mit Hilfe zuverlässigkeitsorientierter Vorgehensweisen behandelt werden kann. Hierbei sind dann z.B. unterschiedliche Versagenspfade, die zu unterschiedlichen Grenzzuständen führen, zu untersuchen, wobei die statistischen Streuungen der jeweiligen Einflußgrößen zu berücksichtigen sind. Die Schwachstelle wird dann anhand der dominierenden Beiträge zur Versagenswahrscheinlichkeit des Bauwerkes identifiziert.

- c) Hieran schließt sich die Wahl der Überwachungs-strategie an. Diese kann *prognostisch* sein, hierbei werden adaptive Modelle benötigt, die sich an den jeweiligen Bauwerkszustand anpassen (der linke Ast des Flußdiagramms (Bild 4) stellt die Vorgehensweise dar), oder

schwellwertüberwachend sein, hierbei werden durch kontinuierliches Monitoring Schwellwerte (z.B. Grenzdehnung, Riß am Zuggurt) überwacht, ohne daß ein Modell benötigt wird. Diese Vorgehensweise könnte z.B. bei älteren Bauwerken gewählt werden, wenn über die Vergangenheit zu wenig bekannt ist, so daß Modelle wegen der unbekannten Anfangsbedingungen zu unsicher wären.

- d) Adaptive Modelle

Wie bereits bemerkt, passen sich die adaptiven Modelle mit Hilfe der durch die BÜ gemessenen Parameter stetig oder diskret an die jeweils neue Bauwerkssituation an. Die adaptiven Modelle sind deshalb grundsätzlich anders aufgebaut als die üblichen Prognosemodelle, die stets von einem Anfangszeitpunkt über einen relativ langen Zeitraum eine Aussage liefern sollen und die deshalb vergleichsweise komplex sein müssen (vgl. z.B. Werkstoffmodelle für zyklische Beanspruchung mit einer großen Zahl innerer Variablen). Adaptive Modelle müssen sich stetig an den neuen Zustand anpassen und werden deshalb wesentlich zuverlässiger sein als die herkömmlichen Prognosemodelle. Wesentliche Voraussetzung für die adaptiven Modelle ist jedoch, daß die Eingangsparameter der Modelle reale, d.h. möglichst einfach meßbare physikalische, chemische, biochemische Größen sind.

- e) Auswahl der Messtechnik

Die Adaptierung und Anpassung unterschiedlichster Meßtechniken stellt ein wichtiges Teilgebiet im SFB dar, weil ohne hinreichend sichere Meßwerte eine BÜ nicht denkbar ist. In Abhängigkeit der zu lösenden Aufgaben wird Meßtechnik für physikalische, mechanische und chemische Anwendungen eingesetzt. Die für eine BÜ einzusetzende Meßtechnik muß den Bedingungen des langzeitlichen, sicheren Einsatzes an Bauwerken genügen (in-situ-Messungen). Da ein großer Teil der üblichen Labormesstechnik diesen Bedingungen nicht genügt, muß die Meßtechnik an die speziellen Bedingungen angepaßt werden. Daneben wird die Entwicklung neuer Meßtechnik erforderlich. Darüber hinaus muß die gesamte eingesetzte Meßtechnik robust sein, sie muß darüber hinaus redundant angelegt werden, da in vielen Fällen ein Ersatz bei Ausfall von Meßtechnik nicht zu realisieren ist. Bei der Datenübertragung wird, falls erforderlich, Funkfernübertragung (digitales Funktelefonnetz) eingesetzt. Über einige entwickelte Sensoren wird im Rahmen dieser Schrift berichtet.

- f) Maßnahmenentscheidung

In der Folge wird eine Entscheidung über anzuwendende Maßnahmen notwendig:

- Wartungen, Instandsetzungen
- Nutzungseinschränkungen oder -ausweitungen
- Verkürzung der Inspektionsintervalle, d.h. Intensivierung der BÜ, bzw.
- Außerbetriebnahme des Bauwerkes sein.

Alle diese Aspekte werden in starkem Maße von Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten gesteuert. Hierzu müssen Modelle zur raschen Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen unter Berücksichtigung der Folgekosten entwickelt werden.

Da die prognostizierte Lebensdauer realer Bauwerke relativ groß ist (größer als die Laufzeit eines SFB!), ergeben sich Probleme bei der Validierung der entwickelten Verfahren, d.h. die Schadensprognose läßt sich am realen Bauwerk nicht unmittelbar bestätigen. Unabhängig hiervon ist man bei der Messung an einem realen Bauwerk beschränkt auf die dort vorliegende zufällige Situation. Aus diesem Grunde sind neben Messungen an realen Bauwerken schwerpunktmäßig zunächst Untersuchungen an Bauwerken im Labor (sog. Ersatz-Bauwerke) vorgesehen, an denen ohne große Mühe alle wesentlichen Parameter eingestellt und variiert werden können. Hierdurch wird die Validierung der Verfahren auch bei großer Parametervielfalt sichergestellt. Parallel dazu werden an ausgewählten, realen Bauwerken Überwachungseinrichtungen installiert, um unter Nicht-Laborbedingungen Meßtechnik, Auswertung und Bewertung zu testen.

Um die Methoden und Strategien, die im SFB 477 entwickelt werden, bei möglichst unterschiedlichen Bauwerken einsetzen zu können, werden neben Bauwerken des klassischen Konstruktiven Ingenieurbaus (also z.B. Hochbauten, Brücken, Tunnel, Krane, Türme, Maste) auch Deponien untersucht. Die verwendeten Verfahren und Methoden sind in beiden Bereichen weitgehend gleich, so daß durch Beschränkung auf diese beiden Bauwerkstypen eine Verbreiterung der Basis der Verfahren erzielt wird. Die Fragen, die die Geotechnik beim Bau von Deponien zu lösen hat, ähneln denen im Konstruktiven Ingenieurbau, da die auf die Gründung einwirkenden Lasten von Deponien denen von Hochhäusern entsprechen, so daß die Probleme, die von der Geotechnik zu lösen sind, in beiden Bereichen weitgehend ähnlich angewendet werden können.

4. Danksagung

Die Arbeiten im SFB 477 „Bauwerksüberwachung“ werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG unterstützt. Hierfür sei auch an dieser Stelle herzlich gedankt.

5. Literatur

- [1] MIKAMI, J., SAKANO, M., SHIBATA, H.: Database of damaged steel bridges. Technology Reports of Kansai-Univ. No.35 (1993) 185-196.
- [2] Zweiter Bericht über Schäden an Bauwerken der Bundesverkehrswege. Bundesministerium für Verkehr 1995.

Prof. Dr.-Ing. Udo Peil
Försterkamp 9
D-38302 Wolfenbüttel